МОДЕЛИРАНЕ НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ ПО БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ

Илия Трифонов
Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, София

Резюме

Необходимостта от проучване на климатичните промени на регионално и локално равнище е една от основните теми разисквани в международните дебати свързани с изменението на климата. Тази информация е нужна за да се оцени въздействието на потенциалните бъдещи климатичните промени върху екосистемите и различните икономически сектори, както в регионален, така и в глобален мащаб. Специализираните научни изследвания в тази област ще доведат до разработването на подходящи стратегии за съобразяване с ефектите от тези промени. В настоящото изследване на база статистическо моделиране са прецизирани глобални климатични модели за района на Българското Черноморско крайбрежие. Изготвени са и проекции на бъдещият ход на температурата на въздуха за станциите Варна и Бургас, за три бъдещи периода-2006-2036г., 2037–2067 г., 2068–2099 г. Източникът на данни за глобалните климатични модели е проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). За статистическото прецизиране са използвани модели базирани на множествена линейна регресия. Първоначално са обработени данни за климатични елементи представляващи историческия период на изследване (1950–2005 г.), а в последствие и симулации представляващи прогнози за изменението на климата до края на века(2006-2099 г .). Сценариите, на които са базирани проекциите са RCP2, 6 и RCP8, 5(IPCC Fifth Assessment Report). Това са „оптимистичен" и „песимистичен" сценарий, които ще доведат до допълнително радиационно натоварване на атмосферата съответно с до 2, 6 и 8, 5W /m2 към края на века. Проектираните тенденции на средномесечните температури на въздуха, според съставените статистически модели съобразно сценарий RCP2. 6, като цяло са разнопосочни и непотвърдени от настоящите(2006–2015 г.) и в двете изследвани станции. Съобразно сценария се очаква слабо повишение на средногодишните температури на въздуха до средата на века, спрямо базовия период на изследване (1950–2005 г.), след което слабо да се понижи. Непрекъснато и устойчиво повишение на средномесечните температури на въздуха спрямо настоящите, съгласно сценарий RCP8, 5 се очаква през почти всички месеци от годината, най-силно през месеците януари, февруари, юли и август. Устойчиво повишение на средногодишната температура на въздуха ще се наблюдава и през трите бъдещи периода, с до 2,5 ˚C в края на века.

Ключови думи: статистическо прецизиране, статистически модели, проекции, климатични промени.

Key words: statistical downscaling, statistical models, projections, climate changes.

JEL: C39.

Увод

Обективното представяне на процесите и явленията свързани с изменението на климата налага използването на пространствен мащаб много по-малък от този разработен от глобалните и регионални климатични модели. Необходимостта от такова прецизиране е призната отдавна (Kim et al., 1984; Gates, 1985; Robinson and Finkelstein, 1989; Lamb, 1987;Smith and Tirpak, 1989;Cohen, 1990). Глобалните климатични модели имат резолюции от стотици, а регионалните десетки километра, което не позволява изследването на регионалните климатични промени, особено в планинските райони със сложен и разнообразен релеф, крайбрежните и островни райони. (Wilbyet. al. 2004). Ето защо се налага статистическо прецизиране на тези модели. Методите за статистическо прецизиране са широко използвани с цел генериране на климатични сценарии на локално ниво(Wilbyet. al. 2004). Те се основават на схващането, че изменението на регионалният климат се обуславя от взаимовръзката между два фактора: едромащабните атмосферни процеси и местните физикогеографски характеристики(топография, разпределение на сушата и морето, характер на земеползване и т. н. Von Storch, 1995, 1999). Публикациите свързани с приложението на климатични модели за територията на България са сравнително малко.

В тях като цяло основна цел е проучване на изменението на климата в България през 20-ти век и определяне на цялостното му въздействие върху селското стопанство (Alexandrov, 1997a, Alexandrov, 1997b, Alexandrov, 1999, Alexandrov and Hoogenboom, 2000, Hartig et al., 1997) и водните ресурси (Alexandrov and Genev, 2003, Chang et al., 2002, Knight et al., 2004). Никой от тях обаче не прилага статистическо прецизиране на данните от климатичните модели. Също така се използва подход със само един, вместо с повече модели. Представително изследване в тази насока е изготвено от Nojarov (2012) Основаната цел на изследването е статистическо прецизиране на регионални климатични модели за високите части на Рила, както и разкриване на връзката между тези климатични елементи и някои показатели на Седемте рилски езера и проектиране на възможни бъдещи изменения. Целта на настоящото изследване е статистическо преци-

зиране на глобални климатични модели за Черноморското крайбрежие на България и проектиране на промените в температурата на въздуха до края на 21 век.

Данни и методи

Въз основа данните за климатични елементи моделирани от глобални климатични модели е извършено статистическото им прецизиране за температурата на въздуха и валежите в ст. Варна и ст. Бургас. Двете изследвани станции имат достатъчно дълъг период на изследване, като техните хомогенизирани редици са представителни за Черноморското крайбрежие на България. Източникът на данни за глобалните климатични модели е проекта CMIP-5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). За статистическото прецизиране са използвани модели, базирани на множествена линейна регресия. Първоначално, са обработени данни за климатични елементи представляващи историческия период на изследване (1950–2005), а в последствие и симулации представляващи прогнози за климата през XXI век (2006–2099 г.). Изготвени са проекции на измененията на изследваните климатични елементи(температура на въздуха и валежи) за три бъдещи периода(2006–2036 г., 2037–2067 г. и 2068–2099 г). Сценариите, на които са базирани проекциите са RCP2, 6 и RCP8, 5 (IPCC Fifth Assessment Report). Това са „оптимистичен" и „песимистичен" сценарий, които ще доведат до допълнително радиационно натоварване на атмосферата съответно с до 2,6 и 8,5W /m^2 към края на века. Предикторите в множественно-регресионните модели за температурата на въздуха са данните от глобалните климатични модели за низходящите потоци късовълнова радиация, скоростта на вятъра по направление север–юг и изток – запад на ниво 925 hpa в атмосферата, температурата на геопотенциалната повърхнина 925 hpa, възходящите потоци дълговълнова радиация, налягането на морското равнище и височината на геопотенциалната повърхнина 925 hpa. Основният критерий за включването на даден предиктор в модела е коригираният коефициент на детерминация R2. Само тези предиктори, които допринасят съществено за качеството на статистическия модел (покачват стойностите на използвания критерий) се включват в него.

Резултати и дискусия

Корелацията между измерените в станциите Варна и Бургас и изчислените от различните глобални климатични модели температури на въздуха е показана в таблица 1. От нея се вижда, че моделите, които най-добре описват този елемент на климата са: CNRM-CM5, FGOALS-g2, GESM1–CAM5 и GFDL–CM3. Коефициентите на корелация при всичките изследвани модели са много ниски, което показва, че глобалните климатични модели не се справят добре при описанието на температурата и в двете изследвани станции.

Корелацията между резултатите от статистическото прецизиране на глобалните климатични модели, въз основа съставените множественно-регресионни модели и измерените температури на въздуха в станциите Варна и Бургас са показани в таблица 2. Стойностите разкриват, че всички месеци от годината са много добре описани от съставените статистически модели (всички с коефициент над 0,9), като всички стойности са и статистически значими. Сравнението между двете таблици ясно показва, че коефициентите във втората са много по-високи. Това означава, че статистическото прецизиране на глобалните климатични модели значително подобрява моделирането на температурата на въздуха и в двете изследвани станции.

Таблица 1. Корелация на Спирмън между измерените и моделирани от CMIP5 глобални климатични модели температури на въздуха в станциите Варна и Бургас за периода 1950–2005 г. Статистически значимите стойности са подчертани.

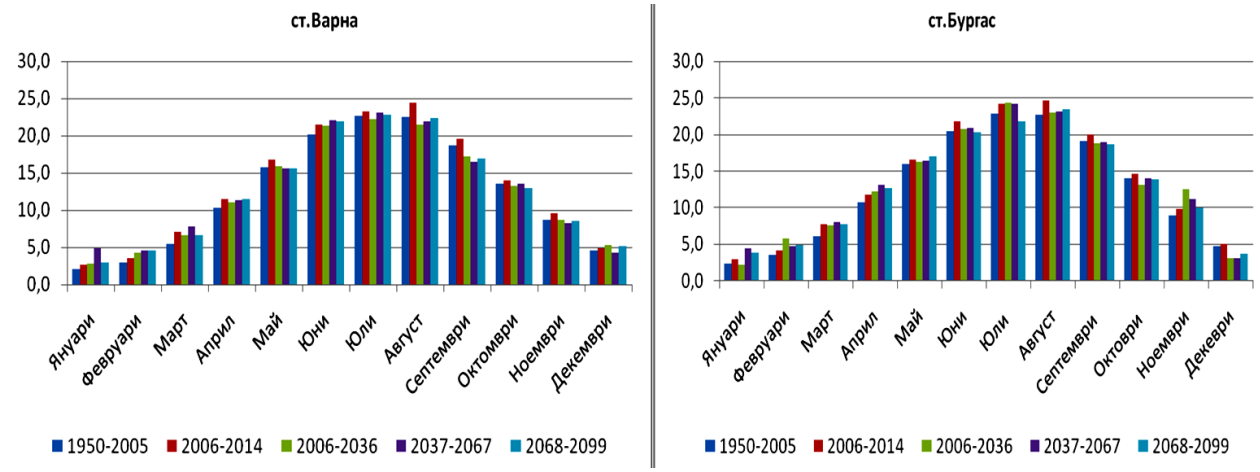
Глобални климатични модели	Вар-на	Бургас	Глобални климатични модели	Вар-на	Бургас	Глобални климатични модели	Вар-на	Бургас	Глобални климатични модели	Вар-на	Бургас
BCC-CSM 1.1	0,01	0,03	MPI-ESM-LR	-0,04	-0,01	MIROC5	0	0,05	GFDL-ESM2G	-0,01	0
BCC-CSM 1.1 (m)	0,02	0,04	MPI-ESM-MR	-0,01	0,01	MIROC-ESM	-0,01	-0,01	GFDL-ESM2M	0,01	0,02
CAN ESM2	0,02	0,07	MRI-CGCM3	**-0,11**	**-0,08**	MIROC-ESM-CHEM	0,03	0,04	GESM1-BGC	-0,05	-0,04
CNRM-CM5	0,05	0,06	GISS-E2-H	0,03	0,03	GESM1-WACCM	0,04	0,04	GESM1-CAM5	0,06	0,06
FIO-ESM	-0,06	-0,04	GISS-E2-R	0,09	0,1	IPSL-CM5A-LR	-0,03	-0,03	NorESM1-M	-0,03	-0,02
ACCESS1.0	0,00	0,04	ACCESS1.3	-0,02	0,01	CSIRO-Mk 3.6.0	**0,12**	**0,13**	FGOALS-g2	0,05	**0,08**
BNU-ESM	0	0,03	CCSM4	0,03	0,06	HadGEM2-ES	0,06	0,03	NorESM1-ME	0,04	0,02

Таблица 2. Корелация на Спирмън между резултатите от съставените статистически модели (МЛР модели) и измерените температури на въздуха за периода 1950-2005г. за ст. Варна и ст. Бургас. Статистически значимите стойности са подчертани.

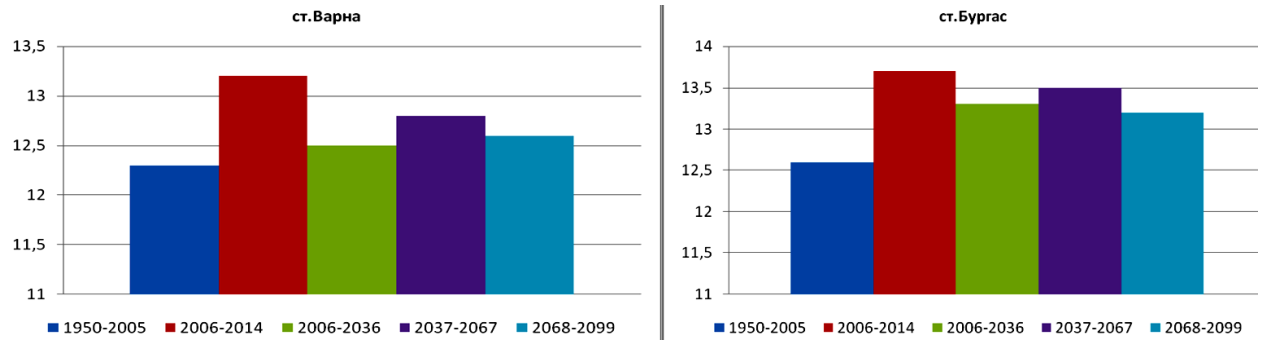
	Януари	Февруари	Март	Април	Май	Юни	Юли	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември
Варна	**0,99**	**0,99**	**0,95**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,94**	**0,99**	**0,99**	**0,99**
Бургас	**0,99**	**0,98**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**	**0,99**

Проектираните средномесечни температури, според съставените множественно-регресионни линейни модели съгласно сценарий RCP2.6, за ст. Варна и ст. Бургас за трите бъдещи периода (2006–2036, 2037–2067 и 2068–2069 г.) са показани на фиг. 2. Показани са също и средните стойности за историческият период(1950–2005 г), както и тези през последните 10 години (2006–2015 г), за проследяване на изминалите състояния и текущите тенденции. Покачване на средните месечни температури, потвърдено от данните за последните 10 години може да се очаква през месеците януари, февруари, март и юни(ст. Варна)и през месеците януари, февруари, март и април (ст. Бургас).

Понижение на средните месечни температури на въздуха(непотвърдено от тенденциите в последните години), се очаква през септември(ст. Варна) и декември(ст. Бургас). През останалите месеци, колебанията между отделните периоди са по-скоро разнопосочни и с малка амплитуда. Ходът на средногодишните стойности на температурата на въздуха съобразно сценарий RCP2.6 за ст. Варна и ст. Бургас е показан на фиг. 3. От нея се вижда, че и в двете изследвани станции средногодишната температура на въздуха постепенно ще се повишава към края на периода 2037–2067г с (до 0,5–0,9 ºC в сравнение с историческият период 1950–2005 г.), след което ще последва лек спад в края на XXI век.



Фиг. 1. Проектирани тенденции в средномесечните температури на въздуха (^{0}C) съобразно сценарий RCP2.6



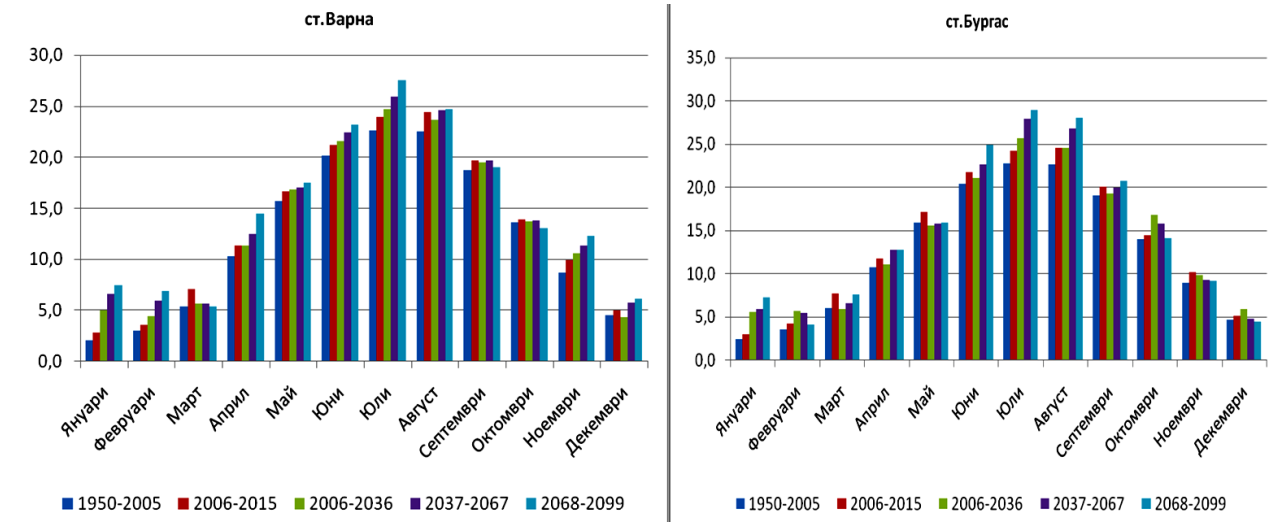
Фиг. 2. Проектирани тенденции в средногодишните температури на въздуха(^{0}C) съобразно сценарий RCP2.6

Проектираните средномесечни температури, според съставените множественно-регресионни линейни модели по сценарий RCP8, 5, за ст. Варна и ст. Бургас за трите бъдещи периода (2006–2036, 2037–2067 и 2068–2099 г.) са показани на фиг. 2. Показани са също и средните стойности за историческият период (1950–2005 г.), както и тези през последните 10 години (2006–2015 г.). Устойчиво нарастване на средните месечни температури на въздуха, потвърдено от данните за последните 10 години се очаква през почти всички месеци от годината с изключение на месеците октомври (ст. Варна) и декември (ст. Бургас), при които ще има лек спад в края на XXI век.

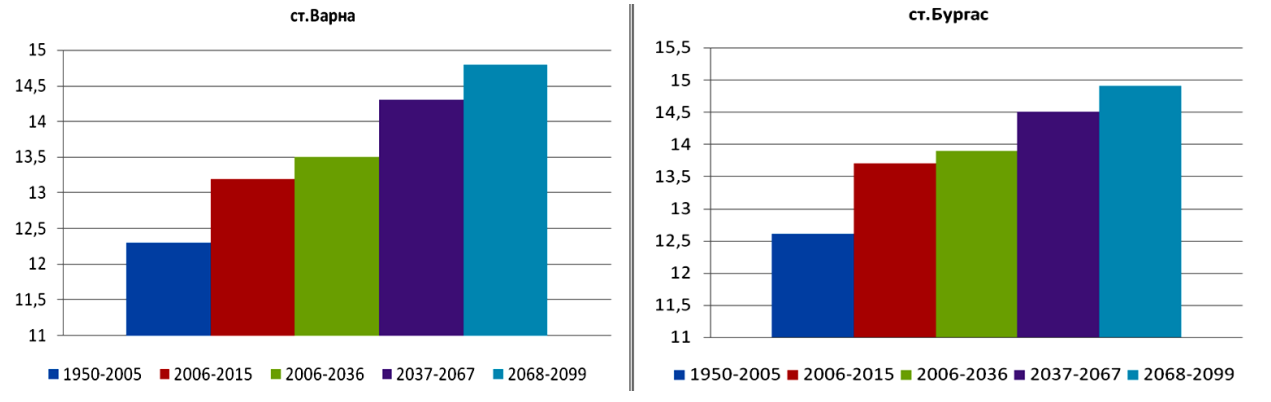
Най-значително нарастване на средните месечни температури на въздуха към края на века (в сравнение с периода 1950–2005 г.) се очаква през месеците януари (с до 5,4 ºC в ст. Варна), февруари (с до 3,9 ºC в ст. Варна), юли (с до 6,2 ºC в ст. Бургас) и август(с до 5,4 ºC в ст. Бургас).

Ходът на средногодишните стойности на температурата на въздуха за ст. Варна и ст. Бургас по сценарий RCP8,5 е показан на фиг. 3. От нея ясно личи устойчивото покачване на средногодишните температури и в двете изследвани станции, като това покачване ще достигне 2,2 ºC (в ст. Бургас) и 2,5 ºC (в ст. Варна)през периода

2068–2099 г., в сравнение с историческият период (1950–2005 г.).



Фиг. 3. Проектирани тенденции в средномесечните температури на въздуха(0С) съобразно сценарий RCP8,5



Фиг. 4. Проектирани тенденции в средногодишните температури на въздуха(0С) съобразно сценарий RCP8,5

Изводи

Глобалните климатични модели не се справят добре при описанието на температурата на въздуха и в двете изследвани станции. Статистическото прецизиране с използване на повече модели и предиктори значително подобрява резултатите и проекциите. Проекциите изготвени съобразно сценарий RCP 2, 6 показват тенденции към повишение на средната температура на въздуха до края на XXI век. през месеците януари, февруари, март и април, характерни и за двете изследвани станции. През останалите месеци от годината колебанията са по-скоро разнопосочни и непотвърдени от настоящите. Средногодишните температури на въздуха постепенно ще се повишават (с до 0,9 ºС) до средата на XXI век., след което слабо ще се понижат. Устойчиво покачване на средномесечните температури на въздуха съобразно сценарий RCP8,5 се очаква през почти всички месеци от годината, най-силно през летните месеци и януари. Средногодишните температури постепенно ще се повишават с до 2,5 ˚С в края на века, в сравнение с историческия период(1950–-2005).

Литература

1. Alexandrov, V. (1997). *GCM climate change scenario for Bulgaria*. Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology 8 (3–4): 104–120.
2. Alexandrov, V (1997). *Vulnerability of agronomicsystems in Bulgaria*. Climatic Change, Vol. 36, 1–2: 135–149.
3. Alexandrov, V., Hoogenboom G. (2000). *The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria*. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 104, Issue 4: 315–327.
4. Alexandrov, V., Genev M. (2003). *Climate Variability and Change Impact on Water Resources in Bulgaria*. European Water, 1/2: 25–30.
5. Chang, C. H., Knight G., Staneva M. P., Kostov D. (2002). *Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria*. GeoJournal 57: 159–168.
6. Gao, X., Giorgi F. (2008). *Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model*. Global and Planetary Change, Vol. 62, Iss. 3–4: 195–209.
7. Kostopoulou, E., Tolika K., Tegoulias I., Giannakopoulos C., Somot S., Anagnostopoulou C., Maheras, P. (2009). *Evaluation of a regional climate model using in situ temperature observations over the Balkan Peninsula*. Tellus A, Vol. 61, Iss. 3: 357–370.

8. Knight G, Raev I, Staneva M. P. (2004). *Droughtin Bulgaria: a contemporary analog for climate change. Ashgate studies in environmental policy and practice*.
9. Nozharov, P. (2013). *Modeling Climate Change in Rila and their impact on the Seven Rila Lakes*. Proceedings of Eight Scientific Conference with International Participation „SPACE, ECOLOGY, SAFETY" SES 2012. 4–6 December 2012, Sofia. (In Bulgarian).
10. Önol, B., Semazzi F. H. M. (2009). *Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean*. Journal of Climate, 22: 1944–1961.
11. Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L. O. (2004). *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods*. available at http://ipcc-ddc. cru. uea. ac. uk). (accessed on Jan. 26 2013).
12. Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Volume 91, Second Edition (International Geophysics), Elsevier.

MODELING OF CLIMATE CHANGES IN BULGARIAN BLACK SEA COAST

Iliya Trifonov
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography,
Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

Abstract

The necessity of study climate change at regional and local scale is one of the main topics discussed in the international debate related to climate change. This information is needed to assess the impact of potential future changes over ecosystems and various economic sectors, regionally and globally as well. Specialized research on this issue will lead to the development of appropriate strategies to consider the effects of these changes. In this study global climate models were downscaled for the region of Bulgarian Black Sea Coast. Projections for the future course of air temperatures were made for stations Varna and Burgas, for the following future periods: 2006–2036, 2037–2067, 2068–2099. The data source for global climate models was project CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). Statistical downscaling was based on multiple linear regression. Future projections were prepared under scenarios RCP2, 6 and RCP8, 5 (IPCC Fifth Assessment Report). Projected trends in the average monthly air temperatures based on statistical models according scenario RCP2. 6, were generally mixed and unconfirmed by the current (2006-2015) in both studied stations. According to this scenario average annual air temperatures will slightly increase in the middle of the twenty-first century compared to the historical study period (1950–2005), then will slightly decreased. Sustainable increase in average monthly air temperatures, according RCP8, 5 scenarios is expected in almost all months of the year, most during the months of January, July and August. Mean annual temperatures are expected to rise with 2,5 ˚C at the end of this century.